



Säkerhetsutmaningar med väte som energibärare

Hedlund, Frank Huess

Published in:
Kemivärlden Biotech med Kemisk Tidsskrift

Publication date:
2018

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Hedlund, F. H. (2018). Säkerhetsutmaningar med väte som energibärare. *Kemivärlden Biotech med Kemisk Tidsskrift*, (4), 23-26.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Säkerhetsutmaningar med väte som energibärare

Många spår att väte får en viktig roll i framtidens energisystem. Det är inte ofarligt eftersom luft-väteblandningar är ytterst lättantändliga och explosionsfarliga.

TEXT FRANK HUESS HEDLUND, COWI A/S, DTU

Foto Greg Webb/IAEA

IAEAs experter lämnar enhet 4 vid TEPCOs Fukushima Daiichi kärnkraftverk den 17 april 2013.

Väte kan inte utvinna utan måste framställas från andra energikällor: vid reformering av fossila bränslen som kol eller naturgas, eller vid elektrolys av vatten där strömmen kan komma från förnybara energikällor.

Väte är alltså ingen energikälla utan en energibärare som ska produceras, lagras och transporteras i stora mängder. Här kommer vätets farliga egenskaper att medföra stora säkerhetsutmaningar (Pasman et al. 2010).

I princip brinner väte helt rent; förbränningsprodukten är enbart vattenånga och det bildas ingen koldioxid. En av vätets stora potentialer är emellertid användning i bränsleceller där den kemiska energin omsätts direkt till elektrisk energi med en verkningsgrad som är högre än för termiska processer, t ex förbränningsmotorer. Därför kan väte bli ett drivmedel i transportsektorn, eventuellt i kombination med traditionella batterier.

ALLMÄNNA SÄKERHETSPRINCIPER. Industrin har byggt upp en stor erfarenhet av väte eftersom det används i stora mängder i många industriella processer, t ex ammoniakframställning. Situationen är dock rätt annorlunda om väte ska distribueras brett i samhället.

"Inherent safety" (inneboende säkerhet) är ett begrepp inom riskanalys och säkerhet, särskilt tydligt formulerat av britten Trevor Kletz, som fokuserar på att bekämpa riskerna vid källan. Man skiljer mellan primärt förebyggande (inherent safety) och sekundärt förebyggande. Primärt förebyggande undanröjer faran. Sekundärt minskar sannolikheten för att faran inträffar. I EUs arbetsmiljölager ingår begreppet i *Hierarchy of prevention and control measures*.

Detta avspeglas i svensk lagstiftning, att arbetsgivarens allmänna skyldigheter ska ta utgångspunkt från följande allmänna principer: a) undvika risker, b) utvärdera risker, som inte kan undvikas, c) bekämpa riskerna vid källan, [...] f) ersätta farliga ämnen med ämnen som inte är farliga eller mindre farliga, osv. (EU 1989). Samma förebyggande principer finns i ATEX-lagstiftningen.

Införande av väte kan anses bryta mot vissa av principerna då väte är farligare än de bränslen det ersätter. Samma kritik kan i övrigt riktas mot införande av gas (biogas) som drivmedel till fordon (bussar) i stadsmiljön där det ersätter den mycket säkrare dieseln eller bränsle på kryssningsfartyg (Hedlund 2014).

HINDENBURGOLYCKAN. Väte har tidigare gett upphov till stora rubriker. Den spektakulära branden och förlisningen av det tyska Luftschrift Zeppelin (LZ-129) Hindenburg 1937 satte stopp för vidare utveckling av luftskepp. De extrema bilderna från Fukushima i Japan där väteexplosioner pulveriserade kärnkraftverkets byggnader spreds över världen.

Här uppstod vätet förmodligen vid en reaktion mellan reaktorns överhettade zirkoniummetall och vatten. Olyckan har gjort kärnkraftens framtid ännu mer osäker.

VÄTE KONTRA METAN. Vätets farliga egenskaper förstås bäst om man jämför med något annat. En uppenbar kandidat är naturgas som huvudsakligen

består av metan (tabell 1). Väte och metan är båda antändbara och explosiva gaser men intervallet mellan den nedre och övre gränsen för antändlighet är betydligt bredare för väte. Vid ett läckage kommer koncentrationen av gas att falla med avståndet eftersom luft blandas in.

Precis vid läckaget kommer gasplymen inte att kunna brinna, på grund av för låg syrehalt; inte heller långt ifrån läckaget eftersom gasen är för utspädd. Vätets mycket breda antändningsintervall innebär att en större del av gasplymen kan antändas och komma i kontakt med flera potentiella antändningskällor. Den är också mer lättantändlig. Även ganska svaga urladdningar av statisk elektricitet kan räcka.

UTRUSTNINGSKRAV. Säkringen i vissa typer av explosionssäker utrustning beror på små spaltgap – om spaltgapet är lagom stort kyls flamfronten av vid passagen och släcks. Vätets låga MESG-värde och låga antändningsenergi ställer särskilda krav på Ex-utrustning. Naturgas, propan och andra vanligt förekommande gaser är Ex-klass IIA. Sedvanlig Ex-utrustning för dem fungerar inte för väte – en klass IIC-gas.

Vätekolekylen är mycket liten och kan diffundera genom många förpackningsmaterial. Vätets låga viskositet betyder att flödet genom små läckor kan vara betydelsefullt. Det är därför svårt att utföra helt täta vätesystem; gasen betecknas som en rymningsspecialist.

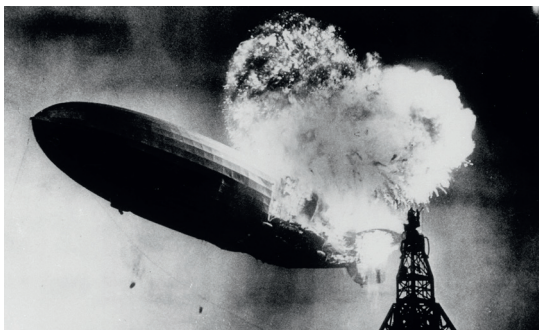
VÄTETS MÅNGA EGENSKAPER. Om en läcka antänds brinner rent väte med en nästan transparent blåaktig flamma. I dagsljus är sådana flammor praktiskt taget osynliga. Det kan ta tid innan de upptäcks och släcks och man kan oavsiktligt råka gå in i dem med risk för personskador. Man har observerat självantändning vid jetutsläpp från högtryckssystem. Fenomenet är ännu inte helt utrett. En tänkbar mekanism kan vara lokal uppvärmning vid utströmning i överljudshastighet (Pasman et al. 2010: 700 och HSE 2008).

Men den absolut farligaste egenskapen är vätets höga flamhastighet och benägenhet att ge upphov till en deflagration- till detonationsövergång (DDT) i slutna utrymmen (confinement) eller, om hinder skapar turbulens i den expanderande gasen så att flamhastigheten kan accelerera. Många har hört den våldsamma knallen när en liten mängd väte (knallgas) antänds på labb.

Om flamhastigheten accelererar till en detonation bildas en chockvåg med stor tryckpåverkan och utbredningshastighet med stora skador som följd. Hindenburg-olyckan resulterade i en brand med en långsam diffusionsflamma; den 245 meter långa zeppelinaren brann upp på ca 30 sekunder, medan Fukushima-explosionen utvecklade sig till en detonation på millisekunder, som ödelade reaktorbyggnaden.

ANDRA OLYCKOR MED VÄTE. Olyckor med utsläpp av väte har vid flera tillfällen medfört detonation. På en ammoniakanläggning i Norge 1985 slutade en packning i en pump att fungera. Pumpen levererade vatten till en skrubberanläggning med väte under 30 bars tryck. Pumpen stod i en byggnad som var 100 m lång, 10 m bred och 7 m hög. Olyckan





Väte är extremt lättantändligt och har tidigare varit orsak till spektakulära olyckor. Vid Hindenburgolyckan 1937 brann väte som diffusionsflamma. Olyckan skadade den allmänna tilltron till luftskepp och markerade avslutningen på deras korta era.

- inträffade när operatörerna bytte från B-pumpen till A-pumpen. Ett interlock-system låste automatiskt ventiler mot vätesystemet men en ventil fastnade i 40% öppet läge. Det reducerade flödet precis så mycket att en kontraventil inte heller låstes. Efter tre minuter hade vätet pressat tillbaka vattnet och strömmade ut från den skadade packningen. Vätet exploderade 20-30 sekunder senare.

TOTAL UTSLÄPPSMÄNGD beräknades till 10-20 kg väte varav ca 3,5-7 kilo ingick i explosionen. Den utvecklades delvis som en detonation med ett explosionstryck på minst 10 bar. Explosionen blåste ut 60 m av väggen och betongelement på 3,5 ton kastades iväg 12-16 m. Ett tungt betongtak med utrustning på, vikt runt 750 kg/m², lyftes 1,5 m upp. Byggnaden förstördes helt.

Vid en explosion utgör glasfragment från krossade fönster en påtaglig fara. Ett fönster i grannbyggnaden krossades och glasfragment borrade sig in i det motsatta väggen av lättbetong. Ett kontorsfönster med påklistrad skyddsfilm blåstes in men skyddsfilmen klarade att hålla ihop de flesta fragmenten.

Ett säkert fönster i ett kontrollrum 50 meter från explosionen klarade sig. Det var fönsterskador upp till 700 meter bort. Inom 100 meter krossades alla vanliga fönsterglas.

Tabell 1. Sammanställning av utvalda farliga egenskaper för väte och metan.

	Väte	Metan
Antändningsintervall ^a nedre-övre(vol%)	4-75	5-15
Minsta antändningsenergi ^b (mJ)	0,016	0,21
MESG ^c (maximum experimental safe gap) (mm)	0,20	1,14
Laminär flamhastighet ^d (m/s)	28	3,5
Tryckstigningsgradient ^e K _{st} (bar m s ⁻¹)	550	55
Lägst koncentration av inert gas för att hindra antändning av väte-luftblandning ^d (%vol)	71 (N ₂) 57 (CO ₂)	36 (N ₂) 23 (CO ₂)
Viskositet ^f (μP)	5,7(@ -258 °C) 84 (@ 0 °C) 109 (@ 129 °C)	35 (@ -182 °C) 103 (@ 0 °C) 133 (@ 100 °C)

Källa: a NFPA 325, b NFPA 77, c Mannan (2005) vol 1, 16/25, d Bjerketvedt et al. (2012), e NFPA 68, f CRC (1984):F43-44

Foto Digital Globe, Wikimedia Creative Commons



Väteexplosioner (detonationer) raserade tre av fyra reaktorbyggnader på det japanska kärnkraftskomplexet Fukushima Daiichi i mars 2011. Olyckan har inneburit den kanske största krisen för kärnkraften.

Tre personer skadades allvarligt och två av dem avled senare. Lyckligtvis inträffade olyckan på en lördag och få personer befann sig i området. Hade det varit vardag skulle antalet skadade blivit mycket större.

Det anmärkningsvärda är naturligtvis att ganska få kilo väte kan ge upphov till sådan ödeläggelse. Det är oroväckande när man tänker på de enorma mängder som ska distribueras om väte ska ersätta befintliga energiformer.

UTMANINGAR. Ytterligare en utmaning är vätes låga energitäthet per volymenhet. Väte måste därför komprimeras under avsevärt tryck för att kunna användas som energilager. Det ger också kapacitetsproblem för transmissionspipelines som transporterar volymer, inte massa. Tankstationer för vätebilar designas nu med tanktryck på upp till 700 bars tryck (LaChance 2009) som betyder att konsekvenserna enbart av tryckkärslfel är omfattande.

Olyckan i Norge är inte unik. Vid ett kraftverk i USA skedde 2007 en explosion vid leverans av trycksatt väte från speciallastbil som också orsakade stora skador på byggnader.

Man säger att vårt moderna samhälle har lång erfarenhet av säker hantering av stora mängder väte eftersom det framställs i enorma mängder för ammoniakproduktion samt avsvavling av olja och bensin. Det stämmer, men det sker i stora anläggningar av specialutbildad personal. Dessutom har de här anläggningarna en inte oväsentlig olyckspotential. Men vätedistribution är väl beprövat. Tyskland och USA har haft väte-pipelines sedan mitten av 1900-talet med en lysande säkerhetsstatistik.

Det är en framtida utmaning att upplysa och utbilda befolkningen i säker användning av väte och det är viktigt att vi drar nytta av internationella erfarenheter på området.

E-mail: Frank Huess Hedlund: fhhe@cowi.dk

Epilog: Artikeln är delvis baserat på Hedlund & Markert (2012)

1) Se "Ekstrem explosion af benzindampe - igen, igen." Dansk Kemi 92(12):18-21, för skillnad mellan diffusionsflammar, deflagration och detonation.

Källor:

Bjerketvedt and Mjaavatten (2005) *A Hydrogen-Air Explosion in a Process Plant: A Case History*. International conference on hydrogen safety. 2005.

Bjerketvedt D, Bakke JR, Wingerden Kv (2012) *Gas explosion handbook*. Gexcon.

CRC (1984) *Handbook of Chemistry and Physics*. The Chemical Rubber Company (CRC Press)

EU (1989) Rådets Direktiv av den 12 juni 1989 om åtgärder för att främja förbättringar av arbetstarnas säkerhet och hälsa i arbetet (89/391/EEG)

Hedlund FH, Markert F (2012); *Vision: Brint som energibärare? – säkerhetsmässiga utmaningar*.

Dansk Kemi 93(6/7):15-17

Hedlund FH (2014). *LNG safety – an emerging and ignored issue in the climate change debate*. ESRA Newsletter Sep 2014

HSE (2008) *Spontaneous ignition of hydrogen*. Literature Review. Research Report RR615.

LaChance J (2009) *Risk-informed separation distances for hydrogen refueling stations*. International Journal of Hydrogen Energy 34:5838–5845.

Mannan S (2005) *Lee's loss prevention in the process industries*. Vol 1-3. Butterworth-Heinemann.

Pasman HJ; Rogers WJ (2010) *Safety challenges in view of the upcoming hydrogen economy: An overview*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 23 (2010) 697-704.